

原子炉構造レジリエンスを向上させる破損の拡大抑制技術の開発 (20) 壊れ方が破局的でない受動安全構造の提案

Development of failure mitigation technologies for improving resilience of nuclear structures

(20) Proposal of passive safety structures without catastrophic failure

*笠原 直人¹, 山野秀将², 中村いずみ³, 出町和之¹, 佐藤 拓哉¹, 一宮正和¹

¹ 東京大学 ² JAEA ³ 防災科研

設計想定を超える事象に対する構造強度分野における新しい対策として、安全機能への影響の小さな破損モードが先行して荷重を自然に低減させ、機能喪失に至る破局的な破損を起こさない受動安全構造を提案している。

キーワード：原子炉構造、設計想定を超える事象、破損拡大抑制、受動安全構造、高速炉

1. 設計想定を超える事象に対する破損拡大抑制

設計想定を超える事象に対する影響緩和が重視されるようになり、システム安全の分野では可搬設備、緊急対応策など多様な方策がとられている。これに対し、構造強度の分野は、専ら設計想定事象に対する破損防止を目的としており、設計想定を超える事象に対する破損後の影響緩和を目的とした考え方の転換を必要としている[1]。

2. 壊れ方が破局的でない受動安全構造

事故時に破損が生じても、安全性へ影響する破局的破損モードへの拡大が抑制され、クリフエッジを避けてレジリエンス(安全性能低下の度合いと低下進展時間に対する抵抗性、時間余裕を活かしたソフトとハードによる回復性)を確保する方策を考える。ここで、図1のように設計想定を超える事象では、安全性への影響の小さい破損モード(変形や小さなき裂)は容認されることに着目する。設計想定を超える事象に対して破損が避けられない場合、安全性への影響の小さい破損モードが先行して荷重やエネルギーを自然に低減させ、安全機能喪失に至る破局的な破損(崩壊や破断)を起こさない構造を提案する。表1に原子力プラントの典型的荷重に対する、受動安全構造の考え方を示す。

表1 典型的荷重に対する受動安全構造概念

	Vessel	Pipe	Design Basis Events	Beyond Design Basis Events	
Plastic deformation					Small impact on Safety
Small cracks					
Break					
			Prevention of all failure modes	Prevention of catastrophic failure	

原子力プラント荷重	圧力	自重	地震
先行させる小さな破損モード(安全性への影響小)	小さいき裂の貫通	塑性(クリープ)変形	塑性変形や支持部破損による柔構造化
荷重やエネルギーの低下要因	流出による圧力低下	荷重再配分による部材応力の低下	振動数比上昇による伝達エネルギー低下
抑制する破局的破壊(安全性への影響大)	延性破壊、破裂	延性破壊、破断	崩壊、破断

図1 設計想定を超える事象での小影響破損モードの容認

3. 受動安全構造の次世代高速炉への適用

壊れ方が破局的でない受動安全構造の具体例として、次世代高速炉のレジリエンス向上へ適用する。冷却機能喪失事故が起こった場合に、クリープ変形や座屈変形により荷重が再配分され、超高温まで冷却材喪失に至る破断を起こさない原子炉容器構造を提案した。また、過大地震時に座屈変形により外から力が入りにくくなり破断が抑制される容器構造と、塑性変形や支持構造破損により配管自体の崩壊や破断が抑制される配管システムを提案した。現在、計画[1]に沿って、実験と解析による、受動安全構造の適用性検証を進めている。

本研究は文部科学省原子力システム研究開発事業 JPMXD0220353828 の助成を受けたものである。

文献[1] 原子炉構造レジリエンスを向上させる破損の拡大抑制技術の開発 (1) 開発計画, 春の年会, 2E01 (2021)

* Naoto Kasahara¹, Hidemasa Yamano², Izumi Nakamura³, Kazuyuki Demachi¹, Takuya Sato¹ and Masakazu Ichimiya¹

¹Univ. of Tokyo ²JAEA ³NIED